

孔锋. 中国灾害性冰冻天气日数气候演变空间分异特征(1961-2016年)[J]. 灾害学, 2019, 34(4): 121-130. [KONG Feng. Spatial differentiation characteristics of climate evolution of disastrous freezing weather days in China from 1961 to 2016[J]. Journal of Catastrophology, 2019, 34(4): 121-130. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2019.04.021.]

中国灾害性冰冻天气日数气候演变空间分异特征(1961-2016年)

孔 锋^{1,2,3}

(1. 清华大学 公共管理学院, 北京 100084; 2. 清华大学 应急管理研究基地, 北京 100084;
3. 清华大学 中国社会风险评估研究中心, 北京 100084)

摘 要: 基于《中国冰冻数据集(V1.0)》, 采用1961-2016年中国545个气象站点的结霜、雾凇、雨凇和结冰四种灾害性冰冻天气日数数据, 从气候态特征、年代距平变化、变化趋势和波动特征四个方面, 诊断了中国冰冻天气日数时空演变特征。结果表明: ①中国四种灾害性冰冻天气日数在1961-2016年具有各自典型的区域性和次区域性空间分异特征。高纬度或高海拔地区是中国灾害性冰冻天气较多发生的地区。结霜和结冰事件在分布范围和发生频率上明显高于雾凇和雨凇事件。②中国四种灾害性冰冻天气日数距平具有明显的年代变化特征。中国北方的结霜和结冰日数在1960和1970年代以负距平为主, 而在1980、1990、2000和2010年代逐渐演变为正距平为主; 中国北方的雾凇日数和中东部的雨凇日数在1960、1970和1980年代以正距平为主, 而在1990、2000和2010年代以负距平为主。③1961-2016年中国四种灾害性冰冻天气日数变化趋势空间分异不尽一致。结霜、雾凇和结冰日数在高海拔和高纬度地区增减趋势较大。其中结霜日数在北方以增加趋势为主; 雾凇日数则在东北、西北和内蒙古等地区以减少趋势为主; 雨凇日数在中国中东部以减少趋势为主; 结冰日数在西藏、黄土高原、华北平原等地以增加趋势为主。④1961-2016年中国结霜和结冰日数波动特征呈南高北低的空间分异格局。雾凇日数在华南南部和云南西部波动最大, 在长江以南至华南北部、青藏高原、四川东部、湖北西部等地波动最小。雨凇日数在西南地区波动小, 而在北方、东北和东南沿海地区波动大。

关键词: 冰冻天气; 时空格局; 变化趋势; 波动特征; 气候变化; 中国

中图分类号: X43; X915.5; P468 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2019)04-0121-010
doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2019.04.021

近年来随着全球增暖, 极端天气气候事件频发^[1-3], 给社会经济生产和区域可持续发展带来了严峻挑战^[4-8]。尤其是近年来多次发生的极端低温寒潮冰冻事件引发了全社会的广泛关注^[9-14], 其中最典型的两次事件分别是2008年中国南方冰冻雨雪灾害^[15-17]和2018年美国东部的“炸弹气旋”灾害。2008年春运期间中国南方发生历史罕见的冰冻雨雪灾害, 给春运工作带来了巨大的影响和严峻的挑战。2018年初美国东部遭到“炸弹气旋”的袭击, 低温严寒天气造成美国范围内至少22人死亡, 局地气温降到-46℃。此次极寒冰冻天气导致数千次航班取消, 大雪和强风还使得美国大西洋沿岸的炼油厂管道受到影响, 近8万户家庭和企业用电中断。随着极端冷事件的发生, 且影响巨大, 学界也开始讨论增暖背景下极寒冰冻天气发

生的原因^[6,12-13]。当前全球变暖背景下, 学界关注较多的是极端暖事件及增暖后来带的影响, 而对极端冷事件关注相对较少, 且国内对近几十年的冰冻天气时空演变还未有全面的认识^[18-21]。在我国冰冻天气主要由结霜、雾凇、雨凇和结冰等灾害性天气状况造成^[22-28]。已有研究表明中国冰冻天气具有较强的区域性和次区域性特征, 且大部分地区的雾凇和雨凇天气日数呈减少趋势, 但强度区域增加^[22]。目前针对冰冻天气的研究多从局地尺度开展, 而对全国范围的研究相对较少^[29-33]。近年来中国气象局国家气象信息中心制作了《中国冰冻数据集(V1.0)》, 该数据集包含了结霜、雾凇、雨凇和结冰四种灾害性冰冻天气日数。雨凇是一种灾害性天气, 边降边冻, 能立即粘附在裸露物的外表而不流失, 形成越来越厚的

* 收稿日期: 2019-02-25 修回日期: 2019-05-27

基金项目: 中国博士后科学基金资助项目(2019T120114; 2019M650756); 国家自然科学基金(41801064; 71790611); 中亚大气科学研究基金(CAAS201804); 中国气象局气象软科学自主项目(2019ZZXM07)。

作者简介: 孔锋(1986-), 男, 山西临汾人, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为气候变化与自然灾害。

E-mail: kongfeng0824@foxmail.com

坚实冰层,从而使物体负重加大,严重的雨淞会压断树枝、农作物、电线,房屋,妨碍交通。而雾淞的密度小,重量轻,对于电线、树木的破坏性要比雨淞小得多。当电线上的雾淞严重时,会折断电线,造成停电事故。相比雨淞和雾淞天气,结冰和结霜天气分别对交通行业和农业部门影响较大。综上所述,本文基于《中国冰冻数据集(V1.0)》,针对1961-2016年中国结霜、雾淞、雨淞和结冰四种灾害性冰冻天气,从气候态特征、年代距平变化、变化趋势和波动特征四个维度诊断其时空演变特征,从而深化对增暖背景下中国冰冻天气变化特征的认识。

1 数据和方法

1.1 数据来源

本文采用的1961-2016年的冰冻天气数据来自中国气象局国家气象信息中心制作的《中国冰冻数据集(V1.0)》。该数据集包含了中国2474个国家级地面气象站1954年1月以来地面观测的冰冻天气现象,包含结霜、雾淞、雨淞、结冰4类日值数据。该数据集在日常资料处理业务中经过了严格的内部一致性检查和“台站-省级-国家级”三级质量控制。各要素项数据的实有率均在99.99%以上,数据的正确率均接近100%。冰冻天气是根据《地面气象观测规范》的要求进行观测^[34],若某日台站观测出现结霜、雾淞、雨淞、结冰现象,则日值数据中该日对应现象列用“1”表示,若现象未出现则用“0”表示,若缺测用“8”表示。由于中国气象观测站大都建于1951-1960年间,因此,本文研究时段始于1961年。在此基础上,本文根据尽量保留最多站点并保证观测时间连续的原则,对冰冻天气数据进行校验。对于其中缺测数据,利用缺测站点的临近站点值或相邻前后年份的均值补缺,插补数据占总体数据的比率小于0.1%。以上校核完成之后,参考已有的研究成果^[35-36],如果站点日值缺测超过56年0.1%的站点,则剔除该站点;站点日值缺测小于56年日值0.1%的站点,利用本站点的年代际该日值均值补缺本站点的缺测日值,最后得到可用的545个气象站点,站点分布如图1所示。本文的站点不包括港澳台地区。

1.2 计算方法

本文从气候态特征、年代距平变化、变化趋势和波动特征四方面诊断中国冰冻天气演变规律。首先计算1961-2016年中国结霜、雾淞、雨淞和结冰四种冰冻天气日数总和,并基于反距离权重插值(IDW),分析四种冰冻天气日数气候态空间分异特征,并进一步分析不同年代四种冰冻天气日数的距平变化特征。然后本文基于逐年四种冰冻天气日数,根据最小二乘法原理计算四种冰冻天气日数的一元线性趋势。具体计算方法如式(1)和(2)所示。对于样本量为 n 的不同冰冻天气日数

序列 y_j ,用 t_j 表示所对应的年份,建立 y_j 与 t_j 之间的一元线性回归方程:

$$\hat{y}_j = a + bt_j. \quad (1)$$

式中: a 为回归常数, b 为回归系数。利用最小二乘法可求出 a 和 b 。

$$\begin{cases} b = \frac{\sum_{j=1}^n y_j t_j - \frac{1}{n} (\sum_{j=1}^n y_j) (\sum_{j=1}^n t_j)}{\sum_{j=1}^n t_j^2 - \frac{1}{n} (\sum_{j=1}^n t_j)^2}; \\ a = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_j - b \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n t_j. \end{cases} \quad (2)$$

回归系数 b 的符号表示不同冰冻天气日数的线性趋势。 $b > 0$ 表明随时间增加 y 呈上升趋势, $b < 0$ 表示随时间增加 y 呈下降趋势。 b 的大小反映增加或减少的速率,即表示上升或下降的倾向程度。本文将回归系数 b 称为不同冰冻天气日数的变化趋势值。

最后本文采用变异系数的方法计算不同冰冻天气日数序列的波动特征,即年际变异程度,其计算公式为:

$$v = \frac{S}{|\bar{x}|}. \quad (3)$$

式中的 S 和 $|\bar{x}|$ 为不同冰冻天气日数序列的标准差和平均值。变异系数可以消除单位和平均数不同对两个或多个资料变异程度比较的影响。在本研究中,不同冰冻天气日数序列的变异系数越小,其波动程度越小;反之,变异系数越大,波动程度越大。本文将1961-1970、1971-1980、1981-1990、1991-2000、2001-2010和2011-2016年分别称之为1960、1970、1980、1990、2000和2010年代。

2 结果与分析

2.1 冰冻天气日数气候态空间分异特征

从气候态空间分异特征来看,1961-2016年中国四种冰冻天气日数气候态表现出各自明显的区域和次区域分异特征(图2)。从结霜日数气候态特征来看,1961-2016年中国年均结霜日数整体呈现出明显的南高北低的气候态空间分异特征,其中长江流域的中下游及其以南地区的年均结霜日数均在20d以下(图2a)。而东北及内蒙古东部地区、新疆北部地区和西藏东部-青海南部-四川西部地区的年均结霜日数均超过90d,在空间分布上具有明显的三足鼎立之势。从雾淞日数气候态特征来看,1961-2016年中国年均雾淞日数在新疆和东北地区较高,其中新疆北部、内蒙古东北部、黑龙江西部、吉林北部分布最高,超过了9d(图2b)。而全国其他绝大多数地区的雾淞日数均小于1d。其中值得注意的是河北北部地区的年均雾淞日数在4~6d,相比周边地区较高。从雨淞日数气候态特征来看,1961-2016年中国雨淞日数具有独有次区域特征,表现为绝大多数地区的

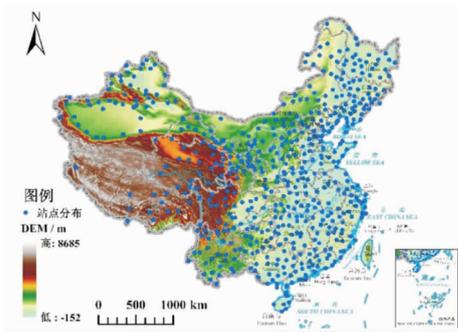


图1 中国数字高程和气象站点分布

年均雨淞日数低于 0.5 d，而贵州、湖南中部等地区分布较高，超过了 4.5 d(图 2c)。从结冰日数气候态特征来看，1961 - 2016 年中国年均结冰日数以 800 mm 等降水量线为界，呈现出南低北高的空间分异格局(图 2d)。其中分界线以南地区的年均结冰日数大都低于 20 d。青藏高原中东部、内蒙古东北部、黑龙江北部地区的年均结冰日数最高，超过了 180 d。综上可知，1961 - 2016 年中国四种不同的冰冻天气日数主要分布在高纬度或高海拔地区。结霜和结冰日数在全国多数地区分布较广，而雾淞和雨淞则具有典型的次区域分布特征。

2.2 冰冻天气日数年代际距平空间分异特征

从年代际距平来看，年代正(负)距平越大，表示该年代相应冰冻日数相比整个研究时段越多(少)。不同年代冰冻日数距平的演变特征可以反映其年代际冰冻天气时空分布规律。从结霜日数

年代距平来看，中国结霜日数距平具有明显的年代分异特征(图 3)。整体来看，1960 和 1970 年代中国北方地区结霜日数以负距平为主，南方结霜日数正负距平较小。而 1980、1990、2000 和 2010 年代中国北方地区结霜日数以正距平为主，南方结霜日数正距平则所年代发展而逐渐增加。具体来看，1960 年代中国秦岭 - 淮河以北地区主要以负距平为主(图 3a)，尤其是华北平原、青藏高原、内蒙古与黑龙江毗邻地区负距平较大，表明北方地区结霜日数相比整个研究时段均值明显偏少。秦岭 - 淮河以南多数地区结霜日数正距平较小，表明 1960 年代南方地区结霜日数相比整个研究时段均值变化不大。相比 1960 年代，1970 年代中国结霜日数负距平地区明显减少(图 3b)，减少的地区主要集中在甘肃以东、秦岭 - 淮河以北地区，尤其是华北平原负距平减少明显。辽宁和内蒙古毗邻地区结霜日数出现正距平，表明该地区结霜日数相比增多。1970 年代中国广大南方地区结霜日数距平较小，表明 1960 年代这些地区的结霜日数与整个研究时段差异不大。1980(图 3c)、1990(图 3d)、2000(图 3e)和 2010(图 3f)年代中国结霜日数呈正距平的地区明显增多，且随年代发展，有不断递增的态势，主要集中秦岭 - 淮河以北和西北地区。且 2000 年代以来长江中下游流域呈负距平的地区也明显增多，表明该地区结霜日数相比严格研究时段明显减少。

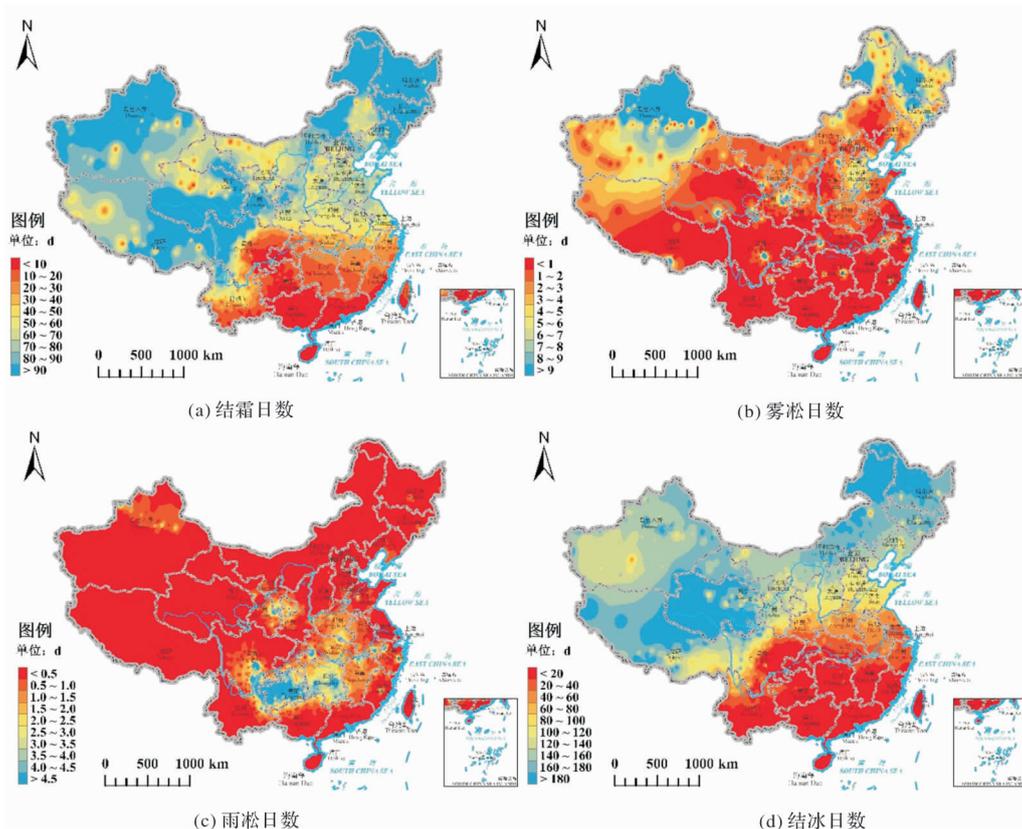


图2 中国冰冻天气日数气候态空间分异格局

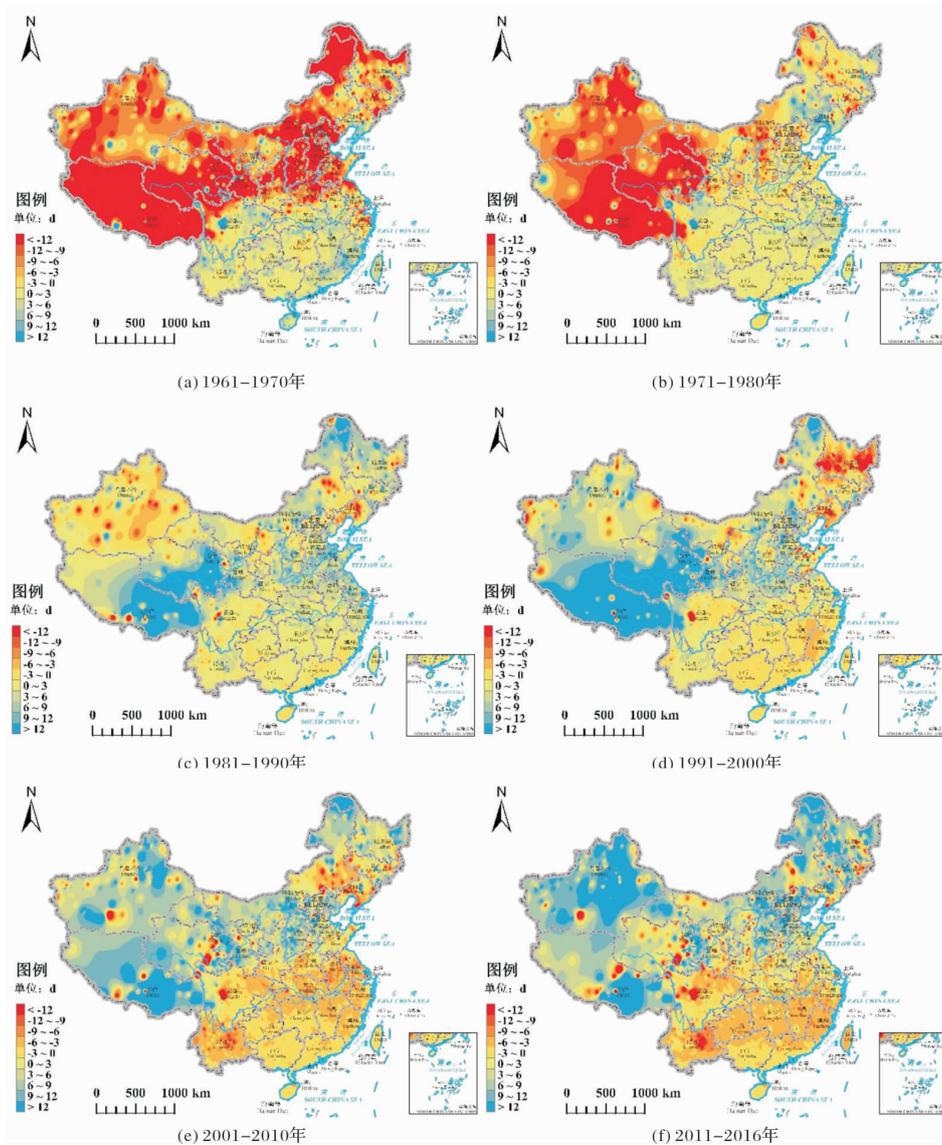


图3 中国结霜日数年代际距平空间分异格局

从雾凇日数年代距平来看,中国北方高纬度地区,尤其是东北和新疆北部等地区,在1960、1970和1980年代负距平明显,而在1990、2000和2010年代上述地区则以正距平为主,且有不断扩张之态势。整体来看,中国北方雾凇日数距平在不同年代变化较大,而南方地区则变化较小。具体来看,1960年代,河北、河南、黑龙江西北、新疆中东部等地区雾凇日数呈负距平,而南方广大地区正负距平较小(图4a)。相比1960年代,1970年代呈正距平的地区扩张较大,尤其是河北、山东西北部、黄土高原中部等地区的雾凇日数在1970年代演变为正距平(图4b)。1980年代,中国北方雾凇日数呈正距平的面积相比1960和1970年代明显缩小,且呈正距平的地区在南方零散分布(图4c)。新疆西部和西藏西部的雾凇日数则在1980年代演变成负距平。自1990年代开始至2010年代,中国北方地区雾凇日数距平逐渐演变成负

距平,且有不断扩张之态势(图4d,图4e,图4f)。综上可见,中国雾凇日数距平具有明显的区域分布特征,且年代分异明显。

从雨凇日数年代距平来看,中国不同年代雨凇日数距平在长江中下游流域、黄淮流域和江淮流域变化较大(图5),而全国其它地区变化相对较小。整体来看,长江中下游流域、黄淮流域和江淮流域的雨凇日数在1960(图5a)、1970(图5b)和1980(图5c)年代以正距平为主,而在1990(图5d)、2000(图5e)和2010(图5f)年代以负距平为主。具体来看,1960年代长江中下游地区的雨凇日数在正距平中零散分布着负距平。全国其它多数地区正负距平不明显。相比1960年代而言,1970年代雨凇日数正距平地区有进一步扩张,而负距平地区相应减少。1980年代雨凇日数正距平主要集中在贵州、湖南、重庆、甘肃东南及其毗邻地区,而黄淮流域地区则演变成正距平。

1990 年代贵州、湖南、湖北、河南、江西等地雨淞日数主要以正距平为主。相比 1990 年代, 2000 年代中国雨淞日数正距平区域进一步扩张, 而 2010 年代与 2000 年代不同的是雨淞日数在贵州呈正距平, 且在江西正负距平均不明显。综上可见, 中国雨淞日数距平具有明显的年代际变化特征, 且区域性分布明显。

从结冰日数年代距平来看, 中国结冰日数距平年代差异明显。1960 年代, 除山东和安徽外, 长江以北地区结冰日数负距平较大; 而长江以南地区正负距平较小。相比 1960 年代, 1970 年代结冰日数负距平分布地区急剧减少, 主要集中在江苏、河南、湖北、陕西、青海东部、西藏等

地区。而结冰日数正距平则零散分布在清华、内蒙古、四川等地。进入 1980 年代, 中国结冰日数在长江以北主要以正距平为主, 而长江以南则正负距平不明显。相比 1980 年代, 1990 年代长江以南结冰日数负距平微弱增加, 而长江以北的黑龙江、山东、安徽等地演变成负距平。进入 2000 和 2010 年代, 中国结冰日数距平分布更加破碎化, 正距平主要分布在西藏、陕西、河南、湖北、江苏等地, 而负距平则主要分布在青海、四川等地。综上可知, 中国结冰日数距平具有明显的年代变化特征, 且随年代发展, 结冰日数正负距平分布的区域性和次区域性增强。

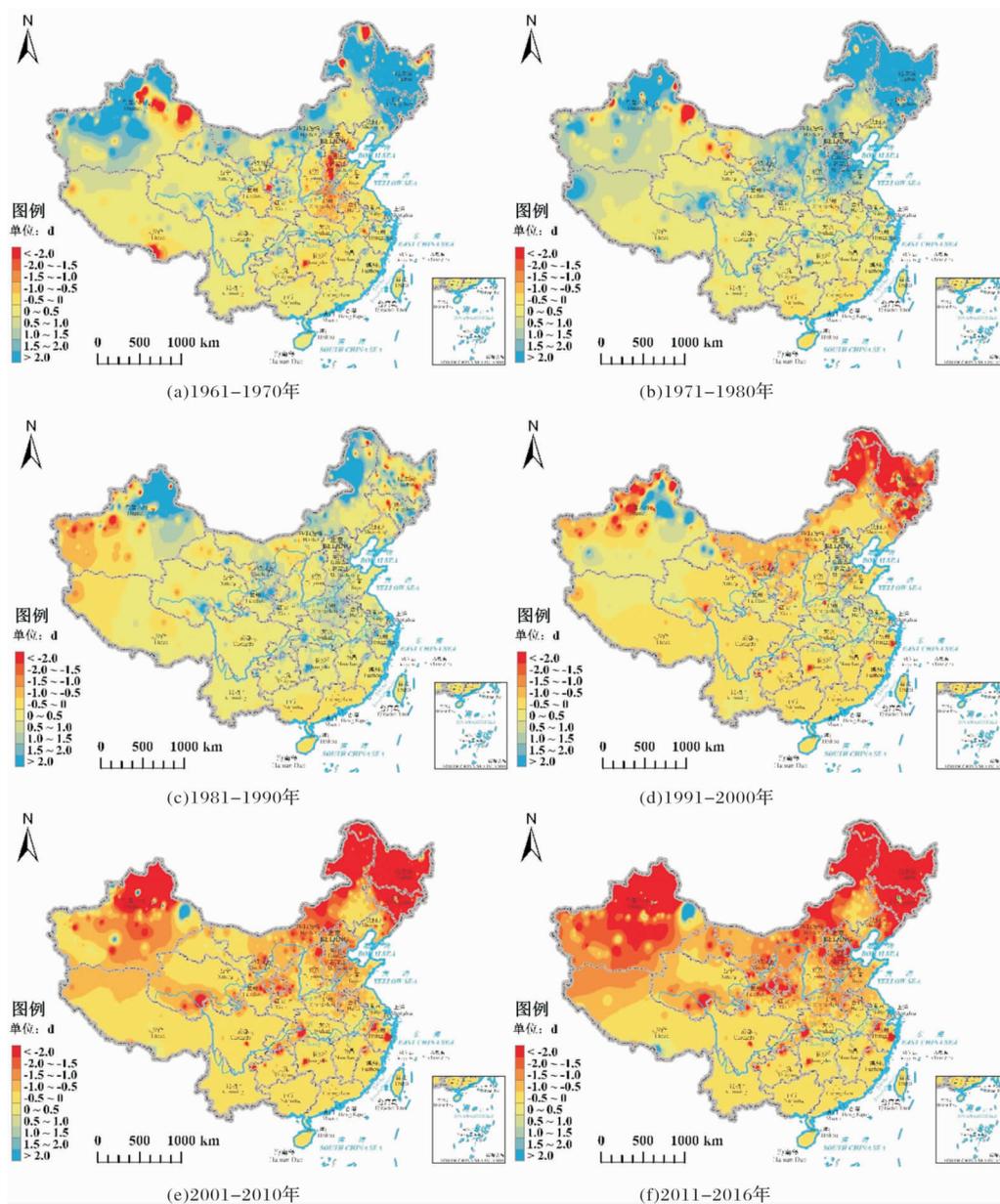


图 4 中国雾淞日数年代际距平空间分异格局

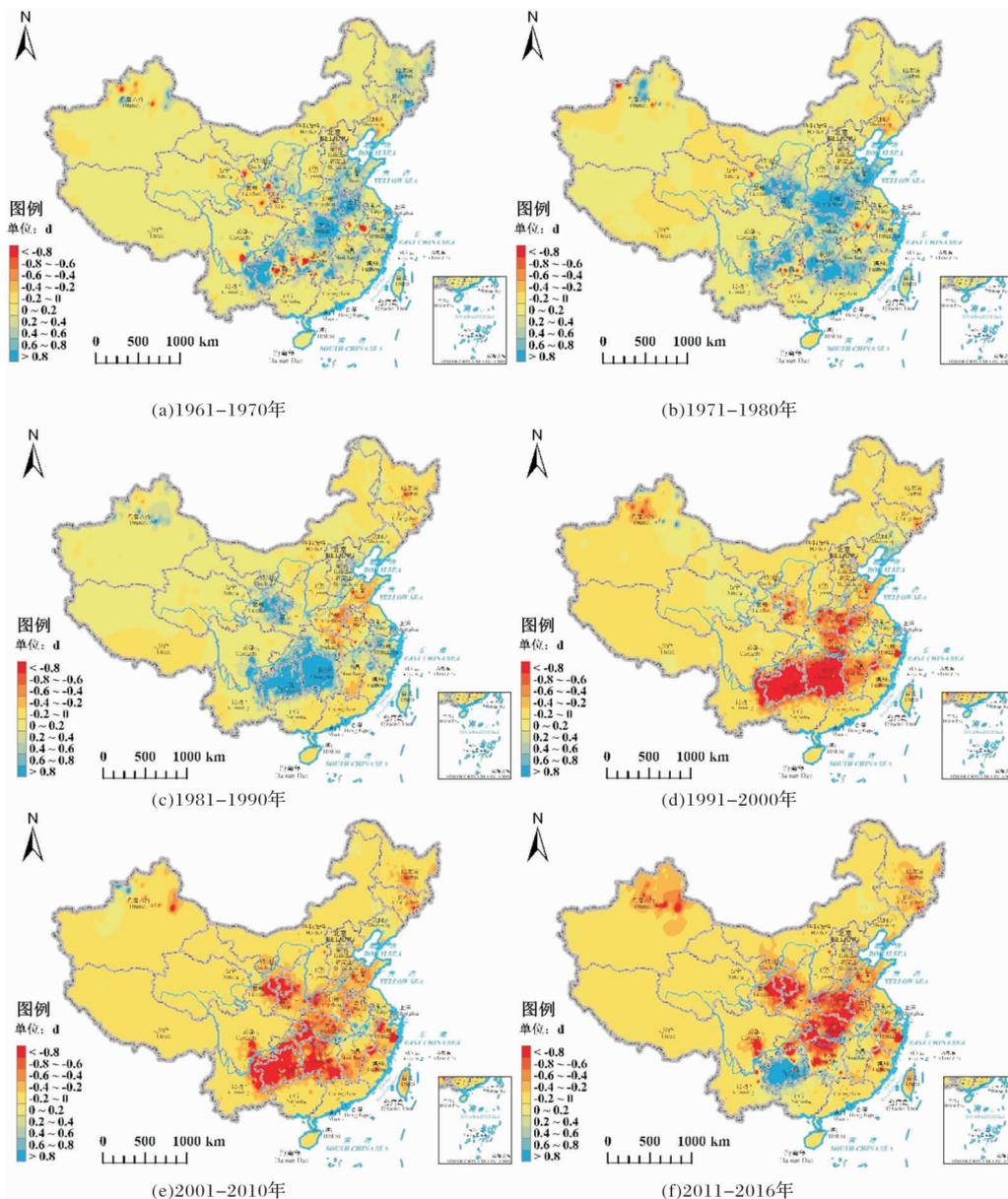


图5 中国雨淞日数年代际距平空间分异格局

2.3 冰冻天气日数变化趋势空间分异特征

从变化趋势来看，1961 - 2016 年中国四种冰冻天气日数变化趋势结果如图 7 所示。图 7 中颜色越红，表示冰冻天气日数呈减少趋势；颜色越蓝，则表示冰冻天气日数呈增加趋势。据此可知，1961 - 2016 年中国结霜、雾淞、雨淞和结冰日数变化趋势具有彼此不同，各自特有的空间分异特征。其中结霜日数变化趋势大致以黄河为界，整体上呈北增 - 南减的空间分异特征(图 7a)。尤其是青藏高原、黄土高原、华北平原、内蒙古和黑龙江毗邻的北部、新疆北部等地区的结霜日数增加趋势明显，超过了 $6.0 \text{ d}/10\text{a}$ 。而黄河以南的广大南方地区的结霜日数呈不同程度的减少趋势，尤其是四川东部、云南东部、江西、福建、广东北部等地区减少趋势较大，介于 $-3.0 \sim -1.5 \text{ d}/10\text{a}$ 之间。从雾淞日数气候态特征来看，1961 - 2016 年

中国雾淞日数整体上呈减少趋势，且高纬度较少趋势大，低纬度减少趋势小，沿江沿河减少大(图 7b)。其中新疆北部、东北、内蒙古等地较少趋势集聚，且减少趋势超过 $0.8 \text{ d}/10\text{a}$ 。仅局部地区呈增加趋势，主要分布在新疆东部天山以北的哈密巴里坤地区，增加趋势超过 $0.8 \text{ d}/10\text{a}$ 。从雨淞日数气候态特征来看，1961 - 2016 年中国雨淞日数整体上呈减少趋势，尤其是中国东部地区分布着“X”状的减少趋势条带区域(图 7c)，主要集中在甘肃 - 宁夏 - 陕西毗邻地区、山东、河南、安徽北部、湖北、湖南、贵州、江西南部、浙江等地区。除此之外，新疆北部和东北中部地区也分布着较大的减少趋势带。全国其它地区则减少趋势较小。从结冰日数气候态特征来看，1961 - 2016 年中国结冰日数具有明显的区域性和次区域性增减趋势性特征(图 7d)。其中西藏、青海东部、陕西、陕西、河北、河南、江苏、内蒙古及黑龙江

毗邻地区等均呈明显的减少趋势，减少速率达 8 d/10a。而四川及长江以南则呈不同幅度减少趋势。西北西部地区结冰日数则呈局地增减镶嵌格局。

2.4 冰冻天气日数波动特征空间分异特征

从波动特征来看，1961 - 2016 年中国四种冰冻天气日数的波动特征空间分布如图 8 所示。图 8 中颜色越红，表示该冰冻天气日数变异越小，波动越小；颜色越蓝，则表示该冰冻天气日数变越大，波动越大。据此可知，1961 - 2016 年中国结霜日数波动特征具有明显的区域性特征。其中结霜日数波动最大的区域主要集中在华南、云贵高原南部、四川东南、重庆、青海中北部等地区，表明这些地区结霜日数年际变率大(图 8a)。而结霜日数在新疆北部、东北地区、内蒙古中部和东部、华北东部、黄淮和江淮地区、四川西部和黄土高原中部地区波动较小，表明这些地区结霜日数年际变率小。从雾凇日数波动特征来看，1961 - 2016 年中国雾凇日数波动特征具有明显的区域和次区域分异特征。其中雾凇日数波动较大的地区主要集中在长江中下游的南岸地区、云贵高原中

部、西藏南部、青海北部、内蒙古中东部等地区，表明这些地区雾凇日数年际变率大(图 8b)。而雾凇日数波动特征在华南、云南西部、贵州东部、四川南部、新江北部、华北东部、东北西部等地区相对较小，表明这些地区雾凇日数年际变率较小。雾凇日数波动特征在西南和长江以南地区分布相对破碎，表明其次区域特征明显。从结冰日数波动特征来看，1961 - 2016 年中国结冰日数具有明显的南高 - 北低的空分异特征(图 8d)。其中长江以南地区又具有明显的南高 - 北低的空分异特征。长江两岸地区中，北岸地区的波动明显高于南岸。全国结冰日数波动较大的地区主要集中在华南、贵州南部和北部、云南、四川东部、重庆、湖北南部等地区，表明这些地区结冰日数年际变率较大。而结冰日数波动特征在秦岭 - 淮河一线以北的广大北方地区波动较大，表明这些地区结冰日数年际变率较小。值得注意的是，安徽地区的结冰日数波动特征相比东西毗邻的江苏、河南、湖北地区较大，表明结冰日数在安徽地区具有明显的区域变异特征。

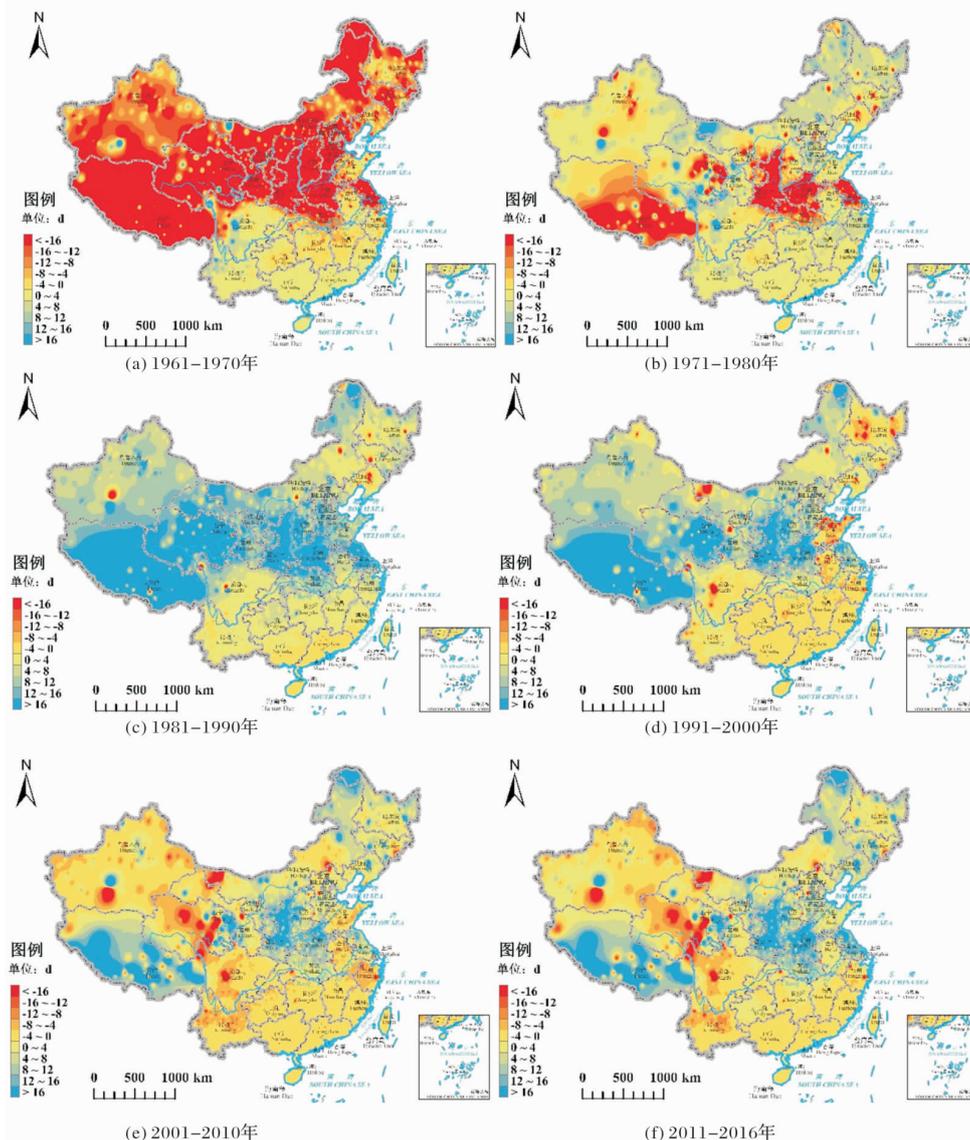


图 6 中国结冰日数年代际距平空间分异格局

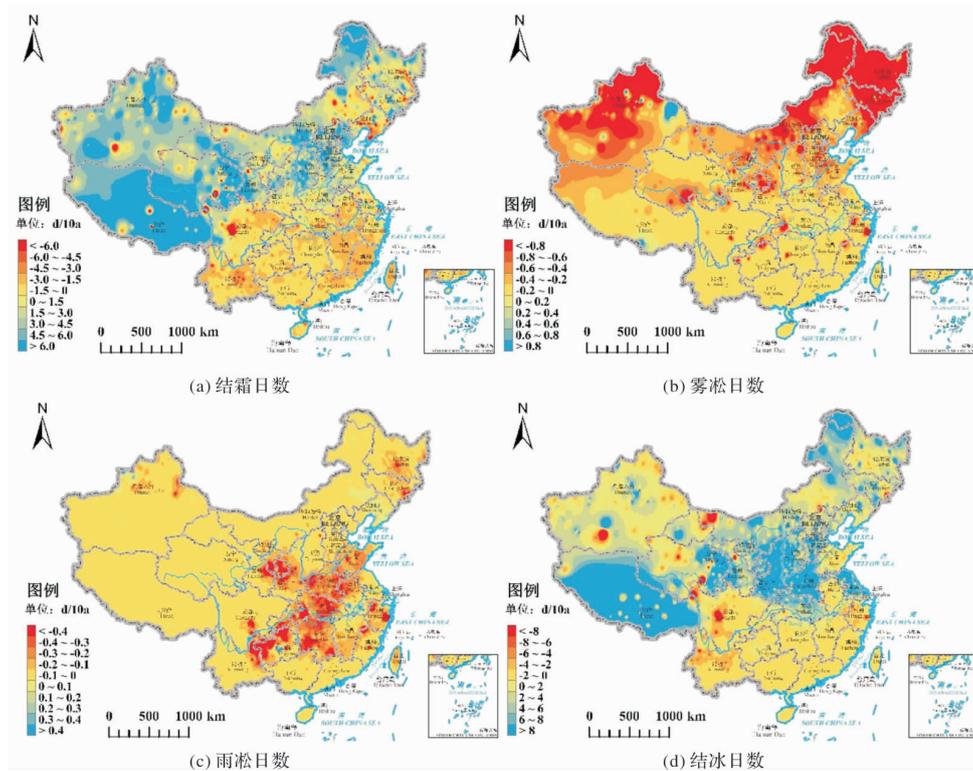


图7 中国冰冻天气日数变化趋势空间分异格局

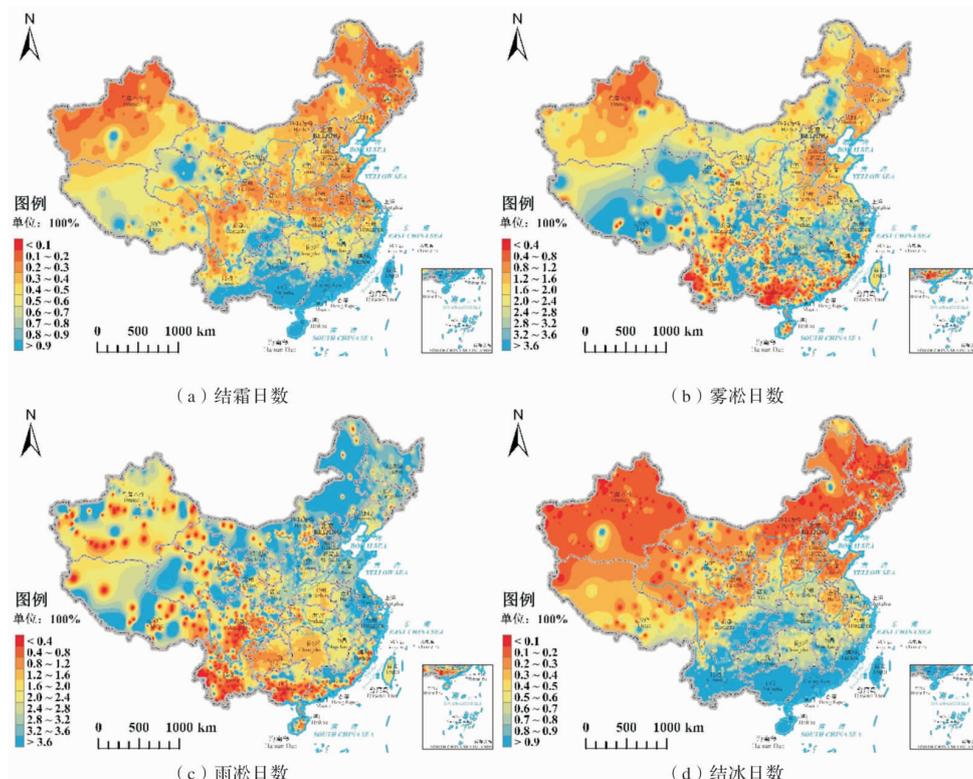


图8 中国冰冻天气日数波动特征空间分异格局

3 结论与讨论

3.1 结论

(1) 在气候态特征上, 1961 - 2016 年中国结霜、雾凇、雨凇和结冰四种灾害性冰冻天气日数

具有各自典型的区域性和次区域性空间分异特征。其中在高纬度或高海拔地区是中国灾害性冰冻天气较多分布的地区。结霜和结冰日数在全国多数地区分布较广, 且发生频次较多, 而雾凇和雨凇仅分布在局部地区, 具有明显的次区域性特征, 且发生频次明显少于结霜和结冰日数。

(2)在年代距平上,中国北方地区结霜日数在1960和1970年代以负距平为主,而在1980、1990、2000和2010年代以正距平为主。中国北方雾凇日数在1960、1970和1980年代以正距平为主,而在1990、2000和2010年代以负距平为主。中国中东部雨凇日数在1960、1970和1980年代以正距平为主,而在1990、2000和2010年代以负距平为主。中国北方结冰日数在1960和1970年代以负距平为主,而在1980和1990年代以正距平为主,2000和2010年代有逐渐演变为正负距平镶嵌分布的格局。中国冰冻天气日数距平具有典型的年代际变化特征,且个别年代呈现出典型的次区域性分布特征。

(3)在变化趋势上,1961-2016年中国四种灾害性冰冻天气日数变化趋势具有不同的空间分异特征。其中结霜日数在北方地区以增加趋势为主;雾凇日数在东北、西北和内蒙古等地区以减少趋势为主;雨凇日数在中国中东部地区以减少趋势为主;结冰日数在西藏、黄土高原、华北平原等地以增加趋势为主。1961-2016年结霜、雾凇和结冰日数在高海拔和高纬度地区增减趋势较大,而雨凇日数在中东部地区呈减少趋势,表明了雨凇发生的局地性相比其它三类冰冻天气较强。

(4)在波动特征上,1961-2016年中国结霜和结冰日数均呈南高北低的空间分异特征,但结冰日数波动较高的范围明显多于结霜日数。结霜和结冰日数在低纬度地区波动较大,而在高纬度地区波动较小。雾凇日数波动特征分布相比复杂,华南南部和云南西部波动最大;长江以南至华南北部一带、青藏高原、四川东部、湖北西部等地波动最小;新疆北部、东北、黄淮海平原地区波动居中。雨凇日数在东北、内蒙古、东部沿海省份、青藏高原局地地区波动最大;而在四川、云南、贵州、两广地区南部波动最小。中国西部地区雨凇波动特征呈现出增减镶嵌的分异格局。

3.2 讨论和展望

(1)增暖背景下的气候复杂化、多样化和极端化发展方向的挑战。伴随着全球气候变暖,类似美国“气旋炸弹”的极寒天气屡有发生。2018年北京地区极端低温寒冷天气持续时间长,成为了破纪录事件。气候不断增暖的同时,导致极端天气气候事件频发,极端低温和高温事件均有增多增强的趋向,气候在朝着复杂化、多样化和极端化方向发展。气候变化的这一特征势必增加了应对气候变化的复杂性。尤其是在人类尚未完全掌握气候变化整体特征的时候,给经济发展和社会运营带来不利因素,影响区域安全和可持续发展。

(2)冰冻天气的灾害遭遇问题讨论。2008年的中国南方低温冰冻雨雪灾害发生在春运期间,给社会经济发展和人民生活带来了巨大的影响。随着物联网和电子商务的快速发展,物流业对通达的交通依赖愈来愈高。对我国而言,冰冻天气易发、频发、聚发的时间变异增大,一旦遭遇春运等交通运输繁忙时段,势必会对各类交通运输行业造成较大压力。同时,短时期内低温、冻雨、冻雪遭遇发生,其致灾强度将远远超过单致灾因

子叠加的强度^[37]。因此,需要从区域灾害系统理论出发,基于孕灾环境、致灾因子和承灾体特征,考虑气候变化复杂性,综合探讨冰冻天气的灾害遭遇问题研究。

(3)增暖背景下极寒冰冻天气的可能成因讨论。目前学界认为全球变暖会导致极端暖的气候事件增多,例如夏季高温热浪趋于增多;而极端冷的气候事件减少,例如冬季寒潮趋于减少。但值得注意的是,观测到的全球变暖速率在时间变化和空间分布上极不均匀。其中,北极增暖速率是全球增暖速率的2倍,这种现象被称为北极增暖或北极放大效应^[6]。2016年1月21-25日,东亚冬季最低气温打破了历史极值,中国东部经历了一次罕见的极端寒潮天气。已有研究认为北极增暖的放大效应通过热力和动力两种机制影响东亚的气候。其中热力作用导致极端暖事件增多,动力作用导致极端冷事件增多。伴随着未来全球变暖和北极增暖放大效应加强,中国冬季的气温变率加大,极寒冰冻天气发生频率增多,年际变率增强。

参考文献:

- [1] IPCC AR5. Intergovernmental panel on climate change 2013 fifth assessment report (AR5) [R]. London: Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2013.
- [2] IPCC SREX. Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation [R]. London: Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2012.
- [3] IPCC SR1. 5. Global Warming of 1.5°C: an IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [R]. London: Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2018.
- [4] 史培军, 孔锋, 叶谦, 等. 灾害风险科学发展与科技减灾 [J]. 地球科学进展, 2014, 29(11): 1205-1211.
- [5] 孔锋, 史培军, 方建, 等. 全球变化背景下极端降水时空格局变化及其影响因素研究进展和展望 [J]. 灾害学, 2017, 32(2): 165-174.
- [5] MA S M, ZHU C W, LIU B Q. Polarized response of East Asian winter temperature extremes in the era of Arctic warming [J]. Journal of Climate, 2018, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-17-0463.1>
- [5] ZHOU Y, REN G. Change in extreme temperature event frequency over mainland China during 1961-2008 [J]. Climate Research, 2011, 50(1): 125-139.
- [6] FANG S, QI Y, HAN G, et al. Changing trends and abrupt features of extreme temperature in mainland China during 1960 to 2010 [J]. Atmosphere, 2016, 7(2): 979-1000.
- [7] 王凌, 高歌, 张强, 等. 2008年1月我国大范围低温雨雪冰冻灾害分析 I. 气候特征与影响评估 [J]. 气象, 2008, 34(4): 95-100.
- [8] 刘布春, 李茂松, 霍治国, 等. 2008年低温雨雪冰冻灾害对种植业的影响 [J]. 中国农业气象, 2008, 29(2): 242-246.
- [9] 王遵娅, 张强, 陈峪, 等. 2008年初我国低温雨雪冰冻灾害的气候特征 [J]. 气候变化研究进展, 2008, 4(2): 63-67.
- [10] LIAO Y F, WU X Y, DU D S, et al. Analysis and numerical simulation of low temperature and frozen rain/snow weather in Hunan Province in 2008 [J]. Journal of Natural Disasters, 2011, 123(1): 1558-1559.
- [11] HAN W H, LIU J Y, ZHANG J M, et al. Power system time-section reliability assessment analysis considering topography and icing under freezing disaster weather [J]. Power System Protection & Control, 2010, 38(15): 81-86.

- [12] DUAN X, TAO Y, DUAN C C, et al. Climate zoning of frozen disasters in Yunnan Province[J]. Plateau Meteorology, 2011, 30(3): 683-691.
- [13] 高辉, 陈丽娟, 贾小龙, 等. 2008年1月我国大范围低温雨雪冰冻灾害分析II. 成因分析[J]. 气象, 2008, 34(4): 101-106.
- [14] 李双双, 杨赛霓, 刘宪锋, 等. 2008年中国南方低温雨雪冰冻灾害网络建模及演化机制研究[J]. 地理研究, 2015, 34(10): 1887-1896.
- [15] 马宁, 李跃凤, 琚建华. 2008年初中国南方低温雨雪冰冻天气的季节内振荡特征[J]. 高原气象, 2011, 30(2): 318-327.
- [16] 王遵娅. 近50年中国大范围持续性冰冻天气过程的变化特征[J]. 高原气象, 2014, 33(1): 179-189.
- [17] 张志富, 希爽, 余予, 等. 1961-2012年中国5类主要冰冻天气的气候及变化特征[J]. 冰川冻土, 2015, 37(6): 1435-1442.
- [18] 顾婷婷, 骆月珍, 梁卓然, 等. 1961-2010年浙江省冰冻灾害时空特征及其与气象条件的关系[J]. 气象与环境学报, 2014(5): 120-124.
- [19] 蒋娇娇, 崔妍, 王颖, 等. 1961-2013年辽宁地区冰冻天气时空分布特征[J]. 气象与环境学报, 2015(5): 147-152.
- [20] 王遵娅. 中国冰冻日数的气候及变化特征分析[J]. 大气科学, 2011, 35(3): 411-421.
- [21] 孙燕, 尹东屏, 宗培书. 江苏冰冻灾害的气候特征[J]. 自然灾害学报, 2013, 22(2): 165-171.
- [22] 赵珊珊, 高歌, 张强, 等. 中国冰冻天气的气候特征[J]. 气象, 2010, 36(3): 34-38.
- [23] 王海军, 覃军, 张峻. 中国南方7省冰冻天气时空分布规律研究[J]. 长江流域资源与环境, 2010, 19(7): 839-846.
- [24] 杜军, 路红亚, 建军. 1961-2010年西藏极端气温事件的时空变化[J]. 地理学报, 2013, 68(09): 1269-1280.
- [25] 王荣梅, 张晓琴, 刘姣, 等. 新疆喀什地区近50a来霜冻变化特征及其对农业的影响[J]. 干旱气象, 2013, 31(2): 309-312.
- [26] 陈芳, 汪青春, 殷万秀. 青海省近45年霜冻变化特征及其对主要作物的影响[J]. 气象科技, 2009, 37(1): 35-41.
- [27] 李想, 陈丽娟, 张培群. 1954-2005年长江以北地区初霜期变化趋势[J]. 气候变化研究进展, 2008, 4(1): 21-25.
- [28] 廖玉芳, 张剑明, 李英. 湖南省近60年雨淞的气候特征[J]. 气候与环境研究, 2012, 17(5): 594-606.
- [29] 张艳梅, 陈海涛, 刘鹏, 等. 近48年六盘水雨淞天气气候特征分析[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(5): 2745-2746.
- [30] 段旭, 陶云, 段长春, 等. 云南省冰冻灾害气候区划[J]. 高原气象, 2011, 30(3): 683-691.
- [31] 陈涛, 陈玉梅, 罗立新, 等. 1954-2008年衡阳冰冻特征及变化趋势分析[J]. 防灾科技学院学报, 2009, 11(3): 30-33.
- [32] 中国气象局. 地面气象观测规范[M]. 北京: 气象出版社, 2005.
- [33] 孔锋, 代光烁, 李曼, 等. 中国不同历时霾日数时空变化特征及其与城镇化和风速的关联性研究(1961-2015)[J]. 灾害学, 2017, 32(3): 63-70.
- [34] 孔锋, 刘凡, 吕丽莉, 等. 1961-2010年中国大尺度区域暴雨时空分布特征研究[J]. 长江流域资源与环境, 2017, 26(4): 631-640.
- [35] 孔锋, 吕丽莉, 方建. 农业巨灾风险评估理论和方法研究综述和展望[J]. 保险研究, 2016(9): 103-116.

Spatial Differentiation Characteristics of Climate Evolution of Disastrous Freezing Weather Days in China from 1961 to 2016

KONG Feng^{1,2,3}

- (1. School of Public Policy and Management, Tsinghua University, Beijing 100084, China;
2. Center for Crisis Management Research, Tsinghua University, Beijing 100084, China;
3. Center for Social Risk Assessment in China, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Based on the China Freezing Weather Days Dataset (V1.0), this study uses the data of frost, rime, glaze and icing days at 545 meteorological stations in China from 1961 to 2016 to diagnose the temporal and spatial evolution characteristics of freezing weather days in China from four aspects: climatic characteristics, chronological anomaly change, trend and fluctuation characteristics. The results show that: Firstly, the four disastrous freezing weather days in China from 1961 to 2016 have their own typical regional and sub-regional spatial differentiation characteristics. High latitude or high altitude areas are the areas where disastrous freezing weather occurs more frequently in China. The distribution and frequency of frost and icing events are significantly higher than those of rime and glaze events. Secondly, the anomalies of four kinds of disastrous freezing weather days in China have obvious characteristics of decadal variation. In the 1960s and 1970s, the frost and icing days in northern China are dominated by negative anomaly, while in the 1980s, 1990s, 2000 and 2010, they gradually evolve into positive anomaly. In the 1960s, 1970s and 1980s, the rime days in northern China and the glaze days in mid-eastern China are dominated by positive anomaly, while in the 1990s, 2000 and 2010, the negative anomaly are dominated. Thirdly, the trend of four kinds of disastrous freezing weather days in China from 1961 to 2016 are not uniform in space. The frost, rime and icing days tend to increase and decrease at high altitudes and latitudes. The frost days increase mainly in the north; The rime days decrease mainly in the Northeast China, Northwest China and Inner Mongolia; The glaze days decrease mainly in the central and eastern part of China; The icing days increase mainly in Tibet, Loess Plateau, North China Plain and other areas. Fourthly, the fluctuation characteristics of frost and icing days in China show a spatial pattern of high in the south and low in the north from 1961 to 2016. The rime days fluctuate largest in Southern China and Western Yunnan, and the smallest fluctuate from the south of the Yangtze River to the north of Southern China, the Qinghai-Tibet Plateau, Eastern Sichuan and Western Hubei. The glaze days fluctuate small in the southwest, but fluctuate large in the north, northeast and southeast coastal areas.

Key words: freezing weather; spatial and temporal pattern; trend; fluctuation; climate change; China